

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

MAHMOUD KHAN HESSABY B. A.

Ingénieur civil,

*Ingénieur électricien de l'Ecole Supérieure d'Electricité
de Paris*

1^{re} THÈSE. — Etude de la sensibilité des cellules photo-
électriques en fonction de la longueur d'onde.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenue le 14 Mars 1927, devant la Commission d'examen

Président : M. FABRY

Examineurs : MM. GUILLET
DARMOIS

PARIS

LIBRAIRIE LOUIS ARNETTE

1927



Digitized by the Internet Archive
in 2026

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

MAHMOUD KHAN HESSABY B. A.

Ingénieur civil,

*Ingénieur électricien de l'Ecole Supérieure d'Electricité
de Paris*

1^{re} THÈSE. — Etude de la sensibilité des cellules photo-
électriques en fonction de la longueur d'onde.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenue le 24 Février 1927, devant la Commission d'examen

Président : M. FABRY

Examineurs : MM. GUILLET

DARMOIS

PARIS

LIBRAIRIE LOUIS ARNETTE

2, rue Casimir-Delavigne, 2

1927

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.
Doyens honoraires ... P. APPEL, M. MOLLIARD.

Professeurs honoraires. { P. PUISEUX.
V. BOUSSINESQ.
A. JOANNIS.
H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.



Professeurs Emile PICARD Analyse supérieure et algèbre supérieure.
G. KOENIGS Mécanique physique et expérimentale.
E. GOURSAT Calcul différentiel et calcul intégral.
P. JANET Electrotechnique générale.
F. WALLERANT Minéralogie.
H. ANDOYER Astronomie.
P. PAINLEVÉ Mécanique analytique et mécanique céleste.
E. HAUG Géologie.
Gabriel BERTRAND. Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE Physique générale et radioactivité.
M. CAULLERY Zoologie (Evolution des êtres organisés).
C. CHABRIÉ Chimie appliquée.
G. URBAIN Chimie minérale.
Emile BOREL Calcul des probabilités et Physique mathém.
L. MARCHIS Aviation.
Jean PERRIN Chimie physique.
Rémy PERRIER Zoologie (Enseignement P. C. N.).
H. ABRAHAM Physique.
M. MOLLIARD Physiologie végétale.
E. CARTAN Géométrie supérieure.
L. LAPICQUE Physiologie générale.
E. VESSIOT Théorie des groupes et calcul des variations.
A. COTTON Physique générale.
J. DRACH Application de l'analyse à la géométrie.
Charles FABRY Physique.
Charles PÉREZ ... Zoologie.
Léon BERTRAND .. Géologie appliquée et géologie régionale.
R. LESPIEAU Théories chimiques.
E. RABAUD Biologie expérimentale.
P. PORTIER Physiologie comparée.
E. BLAISE Chimie organique.
P.-A. DANGEARD... Botanique.
P. MONTEL Mécanique rationnelle.
P. WINTREBERT .. Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSCQ Biologie maritime.
G. JULIA Mathématiques générales.
A. JOB Chimie générale.
A. MAILHE Etude des combustibles.
N... Géographie physique.
N... Physique théorique et physique céleste.
E. HÉROUARD Zoologie.
E. PÉCHARD Chimie (Enseignement P. C. N.).
V. AUGER Chimie analytique.
M. GUICHARD Chimie minérale.
A. GUILLET Physique.
G. MAUGUIN Minéralogie.
L. BLARINGHEM .. Botanique.
A. MICHEL-LÉVY .. Péetrographie.
A. DEREIMS Géologie.
R. DONGIER Physique du globe.
Daniel TOMBECK.

Secrétaire

A MA MÈRE

Témoignage de vénération.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR FABRY

Hommage respectueux.

GÉNÉRALITÉS

En 1887, Hertz constata que l'étincelle électrique passait plus facilement entre deux électrodes, dans l'air, quand on faisait tomber sur l'électrode négative la lumière provenant d'une seconde étincelle. Ceci conduisit Hallwachs, Elster et Geitel à constater que des conducteurs métalliques perdaient leurs charges quand ils étaient éclairés par une source convenable. Si le métal était isolé et neutre, il acquerrait une charge positive mesurée à l'électromètre et ne dépassant pas un volt.. Pour la plupart des métaux, l'interposition d'une plaque de verre arrêta la perte d'électricité négative : donc l'effet constaté pour ces métaux était dû uniquement à la lumière ultra-violette.

Quant aux métaux alcalins, ils étaient très sensibles aux rayons visibles aussi bien qu'aux rayons ultra-violets. Staleton étudia l'influence de la pression du gaz environnant et du champ électrique

On trouve que chaque substance est caractérisée par une longueur d'onde limite à laquelle elle commence à émettre des électrons, et elle continue à en émettre pour des longueurs d'ondes plus petites. Pour les mé-

taux alcalins cette limite est dans le spectre visible ; pour les autres métaux, cette limite est entre 2500 et 4000 Å ; quant aux substances non métalliques, cette limite est au-dessous de 2200 Å. Ceci rend difficile l'étude de l'ionisation des gaz par la lumière ultraviolette.

L'expérience a montré que l'énergie d'émission des électrons était fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente, et allait en augmentant à mesure que la longueur d'onde diminuait. Se basant sur ce simple fait qualitatif, Einstein appliqua la théorie des quanta à l'effet photoélectrique, et énonça la loi suivante :

$$V_e = h \cdot \nu - V_0$$

e est la charge de l'électron.

V étant le potentiel nécessaire pour immobiliser le photo-électron le plus rapide ; $h \cdot \nu$ serait l'énergie initiale de l'électron, et V_0 l'énergie nécessaire à l'électron pour s'échapper de l'atome et ensuite traverser la couche superficielle. Si l'on suppose que pour une couche préparée par distillation dans le vide, la seconde cause de perte d'énergie n'existe pas, V_0 représentera alors l'énergie nécessaire à l'électron pour s'échapper de l'atome.

La meilleure vérification de cette théorie est l'expérience de Millikan (*Physical Review*, vol. VII, 2nd series) qui, opérant dans le vide le plus parfait, sur des surfaces fraîchement coupées dans le vide, obtint la valeur de la constante (h) de Planck, en mesurant

l'énergie maximum d'émission sous l'influence de lumières de fréquences différentes : il trouva :

$$h = 6,569 \times 10^{27} \text{ erg. sec.}$$

qui est conforme aux valeurs de h trouvées par d'autres méthodes.

Effet sélectif. — Pohl et Pringsheim ont trouvé, en 1910, que pour les métaux alcalins, le courant photoélectrique, augmentait très sensiblement au voisinage d'une certaine longueur d'onde. En opérant sur un alliage liquide de KNa de manière à avoir une surface presque plane, ils purent se rendre compte que l'effet sélectif est plus grand lorsque la section principale d'un nicol interposé est parallèle au plan d'incidence, c'est-à-dire quand le vecteur électrique est parallèle au plan d'incidence. On peut, en orientant convenablement le nicol annuler l'effet sélectif et ne conserver que l'effet normal, en rendant le vecteur électrique perpendiculaire à la surface. A cause de la forme des courbes, on attribue l'effet sélectif à un phénomène de résonance.

En l'absence d'un potentiel accélérateur appliqué sur la cathode de la cellule photoélectrique, celle-ci débite, mais peu, parce que la cathode en perdant ses électrons, se charge positivement, et aussi à cause de la force électromotrice de contact entre la cathode de platine et le potassium. Si l'ampoule est vide, la limite du courant débité est atteinte pour un potentiel accélérateur de -20 V ; en remplissant l'ampoule d'un gaz neutre très pur sous faible pression, le courant est

amplifié par ionisation par chocs, et le potentiel accélérateur peut être poussé plus loin. Il y a cependant une limite où il se produirait une décharge lumineuse à travers la cellule.

Facteur influençant la cellule :

- 1) Distance des électrodes ;
- 2) Nature du gaz neutre ;
- 3) Pression ;
- 4) Potentiel accélérateur ;
- 5) Quantité d'énergie lumineuse ;
- 6) Longueur d'onde de la lumière excitatrice.

Pour les cinq premiers facteurs, nous renvoyons aux études très complètes mentionnées dans la bibliographie. Nous citerons seulement la loi de proportionnalité du courant photoélectrique à l'intensité lumineuse.

L'étude de la sensibilité de la cellule photoélectrique en fonction de la longueur d'onde a été faite d'abord par miss Seiler en Amérique, en 1920, et les résultats de ses recherches ont été publiés dans l'*Astrophysical Journal*. Vol. 1920. Le courant était mesuré par un galvanomètre, et étant donné le peu de sensibilité relative d'un galvanomètre, soit 10^{-10} Ampères, la source était d'un grand éclat (filament rectiligne consommant 17 Ampères) et la largeur des fentes du spectroscope était relativement grande (0.7 m. m.). Dans le travail présent, l'instrument employé est un électro-

mètre Moulin très sensible (10^{-13}) et la largeur des fentes est de 0,1 mm. En somme, l'expérience a au moins 100 fois plus de sensibilité.

Nous retiendrons des résultats de Miss Seiler, la valeur de la longueur d'onde λ_m pour laquelle les différentes cellules étudiées avaient leur maximum de sensibilité.

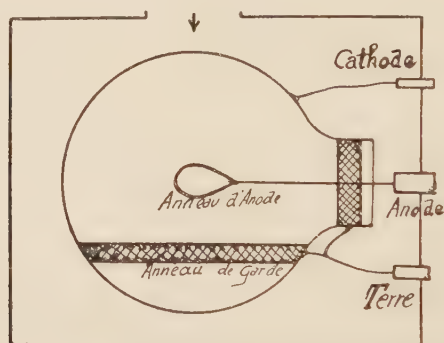
Na H —	4270 A	KH	4560
Na	4190	R	4730
K	4400	R H	4810
Cs	5390		
CsH	5400		

On verra que ces résultats concordent avec ceux trouvés ici.

INSTALLATION

1. La Cellule Photoélectrique

La cellule est une cellule au potassium, fabriquée par la Société Française de perfectionnement Industriel. Le potassium est introduit dans l'ampoule par



distillation, et cette dernière est remplie d'un gaz inerte, l'argon. L'ampoule est enfermée dans une boîte hermétiquement close, et la cellule est isolée des parois de la boîte par des bouchons d'ambre qui forment en même temps supports. Le fil d'anode est isolé à l'ambre ainsi que le fil de la cathode. L'anode est un anneau de platine. Autour de l'ampoule on a fixé un

anneau de garde pour recueillir les charges qui pourraient passer à l'anode par conduction sur la surface du verre de l'ampoule, et ramène ces ions à la terre. La surface du verre de l'ampoule ainsi que la boîte sont ainsi mises à la terre.

Le phénomène photoélectrique se passe de la façon suivante :

Un faisceau lumineux L arrivant par une ouverture ménagée dans la paroi de la boîte frappe la surface intérieure de l'ampoule de verre enduite de potassium : le potassium dégage des électrons, qui sont captés par un anneau central métallique formant l'anode de la cellule, la cathode étant constituée par la surface de potassium. Pour amplifier le courant électronique ainsi débité, l'on interpose entre la cathode et l'anode un circuit extérieur comportant une différence de potentiel plus ou moins élevée ; cette différence de potentiel joue le rôle de potentiel accélérateur, et ionise l'argon.

Un essai préalable a fixé la caractéristique de la cellule et a montré que l'on pouvait faire croître le potentiel accélérateur jusqu'à 240 volts sans risquer une décharge à l'intérieur de la cellule. Par la suite le potentiel accélérateur a été maintenu fixe et égal à 180 volts, au moyen de deux batteries de piles sèches.

2. Méthode de Mesure

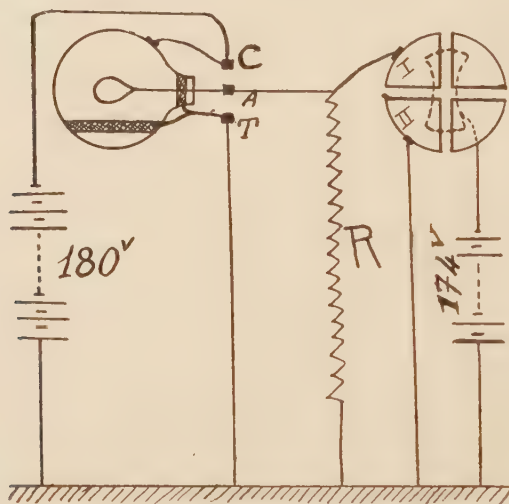
Le but de ce travail étant d'étudier la sensibilité de la cellule en fonction de la longueur d'onde, et de

déterminer avec précision le point de sensibilité maximum, on a choisi, afin d'avoir le maximum de sensibilité dans l'appareil de mesure, un électromètre du système Moulin, au lieu d'un galvanomètre de grande sensibilité. Cet électromètre a servi à MM. Langevin et Moulin pour l'étude des ions de l'atmosphère, et est d'une sensibilité très grande. Avec cet électromètre on peut mesurer des courants de l'ordre de 10^{-12}

(Pour une description complète, voir l'article de M. Moulin, dans le *Radium*, T. IV, 1907, pages 145-154.)

Montage électrique

Le montage électrique est figuré ci-contre



La fente se trouvant devant le spectre, laisse passer un faisceau étroit de rayons qui vont frapper la surface de l'ampoule recouverte de K. Cette surface

émet des électrons qui sont captés par l'anode annulaire au centre de l'ampoule, et de là, portés sur une paire de quadrants de l'Electromètre. Pour augmenter le courant photoélectrique, on a relié la cathode à une batterie de 180 volts, servant de potentiel accélérateur. On avait, sur la courbe du courant en fonction du potentiel accélérateur, vérifié que le potentiel de 180 volts était sur la partie stable de la courbe, et que l'on ne risquait ni une décharge lumineuse à l'intérieur de l'ampoule, ni une instabilité du courant débité.

Le courant photoélectrique est fonction : de l'intensité de la lumière incidente, du potentiel accélérateur, et de la longueur d'onde.

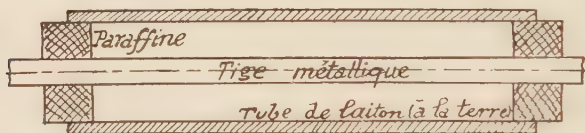
Les deux premiers facteurs ont été maintenus absolument constants, ainsi qu'il sera expliqué. Pour faire varier la longueur d'onde de la lumière incidente, on a procédé de la façon indiquée page 39 en déplaçant la cellule munie d'une fente devant le spectre : les lectures du déplacement pouvaient être faites avec une erreur de moins de $\frac{1}{100}$ de mm.

Le courant débité par la cellule était mesuré à l'électromètre par la méthode de la perte de charge. L'anode de la cellule recueillant les charges photoélectriques est reliée à un quadrant de l'électromètre, l'autre quadrant étant à la terre. Entre les deux quadrants de l'électromètre, c'est-à-dire entre une paire de quadrants et la terre est intercalée une résistance très grande R . Le courant se ferme ainsi par la terre à la cathode de la cellule. Si i est le courant photoélectrique, la diffé-

rence de potentiel crée entre les deux paires de quadrants est $e = Ri$. Pour avoir une lecture convenable à l'électromètre, il fallait avoir e de l'ordre de 1 volt. Comme i est de l'ordre de 10^{-9} ou 10^{-10} Ampères, on a pris R de l'ordre de 10^9 ohms soit, comme valeur exacte 1582×10^6 ohms. Pour la forme donnée à la résistance, voir page 19.

Afin que les lectures de l'électromètre ne soient pas entachées d'erreur, il fallait que la résistance R ne soit pas trop grande par rapport à la résistance d'isolement de l'électromètre.

Nous n'avons pas pu employer les fils sous plomb pour les connexions reliant la cellule à l'électromètre, car la résistance d'isolement d'un fil sous plomb est



de 5 à 600 megohms par mètre courant, de sorte que le courant photoélectrique passe de préférence à la terre par cette résistance d'isolement insuffisante.

Donc pour isoler complètement le fil d'amenée du courant, et en même temps le préserver des ions de l'atmosphère, on a relié la cellule à l'électromètre par une tige rigide en aluminium enfilée dans une tube en laiton qui est mis à la terre. La tige est isolée du tube au moyen de deux bouchons en paraffine percés de trous pour le passage de la tige. De la sorte, la résistance d'isolement formée simplement de deux petits bouchons de paraffine, est extrêmement élevée :

et la résistance de perte de charge R est petite par rapport à elle.

Pour le vérifier, on a comparé les déviations de l'électromètre mesurant le même courant photoélectrique d'abord avec intercalation de la résistance R et ensuite en supprimant la résistance R . Le rapport des déviations a été de $\frac{1}{17}$, ce qui donne pour la résistance d'isolement de l'électromètre une valeur de $17 \times R = 17 \times 1582 \times 10^3 = 26900 \times 10^3$ ohms

Du reste, tous les fils, batteries, supports, etc... étaient isolées de la terre soit en les suspendant par des fils d'amiante à des bouchons d'ébonite fixés le long d'un fil tendu entre deux supports isolés, soit en les disposant sur des plateaux d'ébonite ou de paraffine. Quand à la grande résistance R , elle a été disposée ainsi qu'il sera indiqué.

3. Electromètre

L'Electromètre employé, ainsi que nous l'avons déjà dit, est du système Moulin, à quadrants très rapprochés, et à long fil de suspension. La distance entre les quadrants est de 3 mm, et l'amortissement se fait par l'air. Le fil de suspension a une longueur de 50 cm environ.

Le miroir concave a une distance focale de 1,90 m. et donne une image très nette.

Enfin, les quadrants, le fil de suspension et les miroirs sont enfermés dans des cages de Faraday reliées à la terre. Une petite ouverture vitrée permet au

rayon lumineux d'atteindre le miroir et au rayon réfléchi de sortir.

Cet appareil étant très sensible, le réglage en est un peu long. Comme on ne peut compter sur une parfaite horizontalité des quadrants, ni sur une parfaite symétrie de l'aiguille par rapport aux quadrants; on a fait le réglage de la façon suivante :

On a d'abord choisi un point où les vibrations se faisaient le moins sentir : les oscillations du spot indiquaient assez nettement la position d'un nœud ou d'un ventre de vibrations.

Une fois la position d'un nœud choisi, on a amené le plateau à l'horizontale, et après avoir mis les deux paires de quadrants à la terre, on a amené l'aiguille à peu près dans la position symétrique. Dans cette position en mettant l'aiguille à un potentiel de 4 ou 5 volts, on a noté une déviation de quelques centimètres. On a ramené cette déviation à la moitié de sa valeur en agissant en partie sur une des vis calantes et en partie par rotation du fil de suspension. En mettant à nouveau l'aiguille à la terre, on a noté le nouveau 0; puis l'aiguille étant portée à 4 ou 5 volts, on observe une petite déviation résiduelle que l'on ramène de même façon à la moitié de sa valeur. On procède de même avec l'aiguille successivement au potentiel zéro et à un potentiel croissant jusqu'à la valeur maximum que l'on voulait utiliser, soit dans le cas présent 174 volts.

En fin de compte, les deux quadrants étant à la terre, le spot ne doit pas se déplacer lorsque l'aiguille est au potentiel zéro ou au potentiel de 180 volts. On

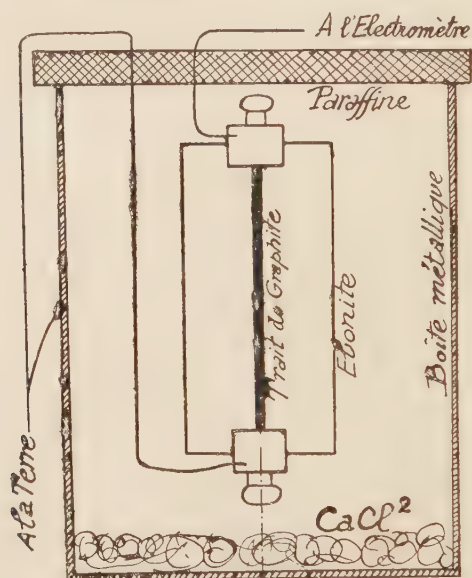
s'est assuré ainsi de la symétrie de la position de l'aiguille par rapport aux quadrants. Ensuite, l'on porte les deux quadrants à un potentiel positif quelconque, mais le même pour les deux quadrants, et l'on vérifie que le spot ne bouge toujours pas de place. A ce moment-là, l'électromètre est réglé, et il faut s'arranger de façon à ce que l'on ne puisse y toucher et le dérégler accidentellement.

Une fois l'électromètre réglé, on en a fait l'étalonnage. L'aiguille est mise au potentiel d'utilisation de 174 volts, en mettant en série avec l'aiguille, par mesure de précaution contre les court-circuits possibles, une résistance formée d'un trait de graphite sur une petite plaque d'ébonite. Cette résistance est fixée au support et livrée avec l'appareil. L'un des quadrants est ensuite mis à la terre, la terre étant constituée par un fil de cuivre nu soudé au tuyau du chauffage central. L'autre paire de quadrants est reliée à un élément Daniell isolé sur un socle d'ébonite, l'autre borne de la pile étant reliée à la terre. On observe une déviation de 155 mm. L'élément Daniell donnant 1,069 v. cela fait pour l'appareil une constante de 145 mm par volt.

4. Résistance

Dans la mesure des courants photoélectriques, on a employé la méthode de la perte de charge. Le choix et la disposition d'une résistance convenable ont été longs. On a essayé plusieurs sortes de résistances :

trait de graphite sur ébonite, trait de graphite sur du verre dépoli, papier enduit d'encre de Chine. Le papier enduit d'encre de Chine était facilement réglable d'après la longueur de papier utilisé, mais présentait l'inconvénient d'être très hygrométrique et très sensible aux variations de température : elle variait de plus avec le temps. Quant au trait de graphite sur verre dé-

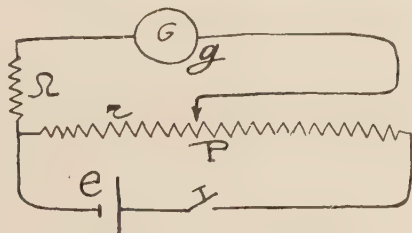


poli, l'inconvénient était la discontinuité du trait. Le trait de graphite sur ébonite donnait des résultats meilleurs, mais variait avec l'état atmosphérique. De plus, on constatait que l'aiguille n'était point absolument fixe, mais avait des mouvements irréguliers et d'amplitudes très variables. Après avoir éliminé toutes les autres causes possibles, on s'est rendu compte finalement que l'ébonite étant à l'air libre, le trait de

graphite et l'ébonite captaient les ions de l'atmosphère en nombre plus ou moins grand, et ces ions transportés sur la paire de quadrants, causaient les perturbations observées. On enferma la résistance dans une boîte métallique avec quelques cristaux de chlorure de calcium et on ferma la boîte avec un couvercle de paraffine percé de deux petits trous pour le passage des fils aux deux bornes de la résistance. Puis on boucha ces deux trous avec de la paraffine fondue, ainsi que le bord de la boîte: La boîte elle-même fut mise à la terre. De la sorte la résistance était soustraite à l'action des ions de l'atmosphère et de l'humidité. La résistance ainsi constituée donna toute satisfaction, et le spot resta absolument fixe.

Mesure de la résistance

Pour mesurer la résistance, on s'est servi d'un galvanomètre sensible Hartmann et Braun, car il fallait



Etalonnage du Galvanomètre

que le courant traversant la résistance fut faible, de façon à éviter qu'elle ne puisse varier par le passage du courant. Pour la mesure de la résistance, on a choisi la méthode directe, en s'entourant des précautions nécessaires.

Le galvanomètre a d'abord été étalonné d'après le schéma page 21.

La formule donnant le courant qui passe dans le galvanomètre est

$$i = \frac{\frac{e}{P} \times r}{\Omega + g + r}$$

Avec les valeurs suivantes :

$e = 1,069 = 1$ élément Daniell.

$P = 10.000$ ohms.

$r = 100$ ohms.

$g = 562$ ohms.

$\Omega = 100.000$ ohms.

on obtient pour la valeur de i :

$$i = 106,2 \times 10^{-9}$$

Ce courant donne une déviation sur l'échelle de $\alpha = 70$ au foyer du miroir.

La constante du galvanomètre définie par $C = \frac{i}{\alpha}$ est

$$\text{donc } C = \frac{106,19 \times 10^{-9}}{70} = 1,517 \times 10^{-9}.$$

La résistance qu'il faudrait mettre en série avec le galvanomètre afin qu'il dévie de 1 mm sous une différence de potentiel de 1 volt, serait donc de

$$\frac{1}{C} = 659 \times 10^6 \text{ ohms.}$$

Pour mesurer alors la valeur de la résistance, on dispose cette dernière en série avec une batterie de

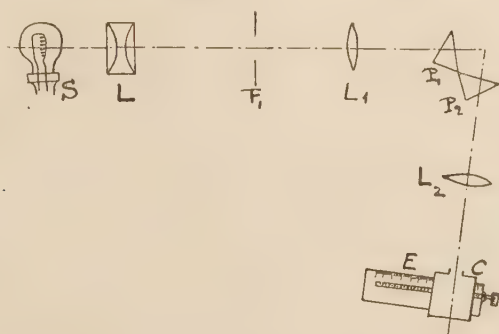
piles et le galvanomètre. La batterie de piles est isolée sur des plaques d'ébonite ; la résistance est isolée comme on l'a indiqué, avec de la paraffine. Tous les fils servant aux connexions étaient suspendus par des fils d'amiante à des pièces d'ébonite attachées le long d'un fil tendu entre deux isolateurs. On a vérifié qu'il n'y avait aucun défaut d'isolement constituant une dérivation entre la batterie et le galvanomètre, en mettant la résistance hors circuit.

Avec une différence de potentiel de 84 volts on a obtenu une déviation de 35 mm.; soit pour la résistance, la valeur de :

$$R = \frac{84 \cdot 659 \cdot 40}{35} = 4582 \cdot 10^3 \text{ ohms.}$$

5. Spectrographe

On a utilisé un spectrographe très lumineux, à lentilles et prismes de verre, construit au laboratoire.



La lentille condensatrice L forme l'image agrandie de la source sur la fente F. On choisit de préférence

une image agrandie de la source afin que la fente soit couverte par une lumière régulièrement répartie, et afin que le faisceau de lumière ne s'élargisse pas inutilement au sortir de la fente couvrant ainsi, en plus de la lentille L_1 les environs de cette lentille, et pouvant alors donner par reflexion et diffusion sur les parois de la lumière diffusée qui de la boîte du spectrographe pourrait, en agissant sur la cellule photoélectrique fausser les résultats des lectures.

Le faisceau est ensuite rendu parallèle par la lentille L_1 ; il traverse deux prismes de 60° en flint dense et est mis au point par la lentille L_2 ; le spectre obtenu a 50 mm de longueur environ. Le système entier est placé dans une boîte complètement noircie à l'intérieur afin d'éviter la lumière diffusée.

Enfin, les dimensions des prismes et des lentilles en font un spectrographe très lumineux.

Étalonnage du Spectrographe.

Courbe de dispersion.

Pour avoir la courbe de dispersion du spectrographe, on a employé la méthode photographique, en prenant comme source lumineuse l'arc à mercure concurrentement avec la flamme du Lithium pour avoir une raie dans le rouge.

La plaque était mesurée sous la machine à diviser et l'on a obtenu le tableau suivant, en prenant pour origine des distances la raie rouge du Lithium. La plaque était une plaque Lumière micro-panchro.

La lecture pouvait être faite sur la machine à diviser au millième de millimètre, précision plus que suffisante, car la sensibilité de la cellule varie relativement lentement avec la longueur d'onde.

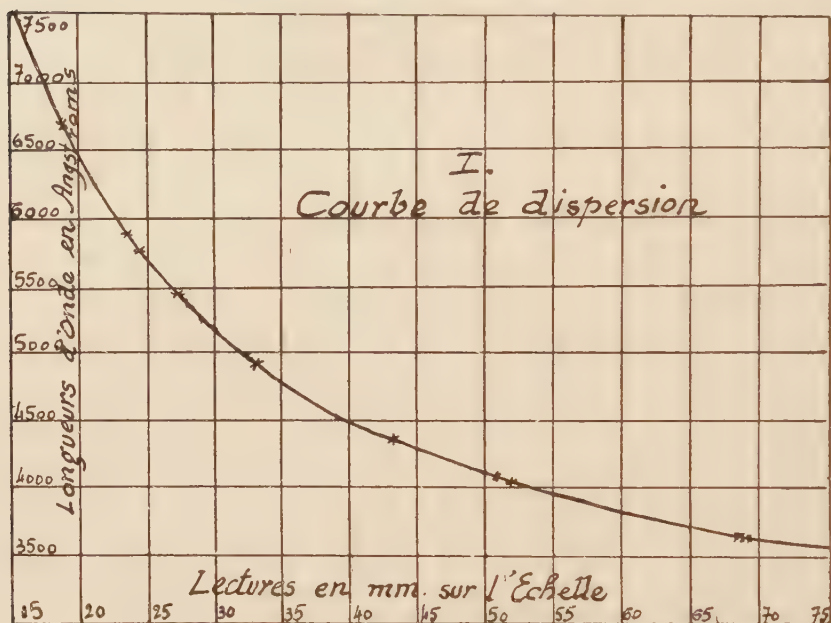
On choisit donc une raie intense, la raie verte du mercure. On place la cellule près de cette raie, et en déplaçant la cellule au moyen de la vis molletée devant cette raie, on obtient un certain courant débité par la cellule. On mesure ce courant à l'électromètre, et l'on constate que les déviations de l'électromètre passent par un maximum. C'est la position de la cellule correspondant au centre de la raie. Le résultat a été 26,95 mm comme lecture sur l'échelle correspondant à la raie verte du mercure, d'après le tableau suivant donnant les déviations de l'électromètre en fonction de la position de la cellule.

RAIE VERTE Hg

Positions de la cellule en mm. sur l'échelle	Déviations de l'électromètre en mm.
26 mm	25
26.50	50
26.70	117
26.80	200
26.90	207
26.95	210 Centre de la raie verte
27	193
27.10	178
27.50	155
28	60

La courbe de dispersion est donnée ci-contre. Dans le rouge extrême pour $\lambda = 7.000$, on a extrapolé à partir de la raie du Lithium, $\lambda = 6708$. Ci-après le tableau des longueurs d'onde avec les lectures correspondantes de la machine à diviser et de l'échelle graduée.

Une fois obtenue la courbe de dispersion, il fallait



COUREE DE DISPERSION

déterminer la position de la cellule sur l'échelle graduée, correspondant à une longueur d'onde incidente déterminée. La cellule photoélectrique devait se déplacer devant le spectre sur une échelle graduée fixe, et les diverses longueurs d'onde devaient tomber ainsi successivement sur la fente de la cellule. Il suffisait

donc d'observer la lecture sur l'échelle graduée correspondant à une seule longueur d'onde incidente, pour en déduire par additions et soustractions des distances entre raies données par la machine à diviser, la courbe des longueurs d'onde en fonction des lectures de l'échelle graduée.

COURBE DE DISPERSION

Arc à Mercure et Flamme de Lithium combinés

	λ	Lectures de la machine à diviser	Distances sur l'échelle de la cellule photoélectr.
Rouge Li...	6708	0	18.79
Jaune Na...	5893	4.68	23.47
Jaune Hg...	5791	5.45	24.24
	5770	5.63	24.41
{ Verte....	5461	8.17	26.95
{ Lecture de repère de la cellule photoélectrique }			
Bleue.....	4916	14.34	33.13
Violette....	4348	24.49	43.28
	4078	32.08	50.86
Violet extr..	4047	33.09	51.88
	3663	49.65	68.44
Ultra violet.	3655	50.10	68.89
	3650	50.50	69.25

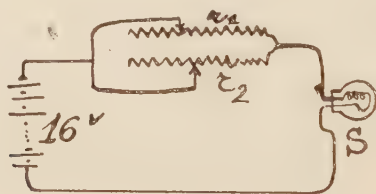
6. Source Lumineuse

a) Description

La source lumineuse employée est une lampe demi-watt, à filament droit en spirale, donnant 25 bougies sous 12 volts. Afin d'avoir plus d'énergie dans le violet

et l'extrême violet, où la sensibilité de la cellule baisse, on a mis la lampe sous 16 volts, avec un rhéostat de réglage de façon à pouvoir pousser à volonté la consommation de la lampe, tout en maintenant le courant constant. La tension de 16 volts a été fournie par une batterie de 8 accumulateurs renouvelés périodiquement, de manière à ce que la tension reste toujours constante au cours d'une expérience. Le courant traversant la lampe était lu sur un ampèremètre donnant 2 ampères comme lecture maximum ; en agissant sur le rhéostat on maintenait le courant à une valeur donnée.

Le rhéostat était composé d'une résistance à plots mise en parallèle avec une résistance à variation continue. De cette façon, malgré une légère variation de la force électromotrice de la batterie d'accumulateurs, le courant traversant la lampe pouvait être maintenu constant.



b) *Répartition de l'énergie de la source dans le spectre*

Pour déterminer la répartition de l'énergie de la source dans le spectre, on s'est servi des formules du rayonnement donnant la répartition de l'énergie du

corps noir à une température donnée. La source employée (filament à incandescence) n'étant pas un corps noir, il a fallu mesurer sa *température de couleur équivalente*, c'est-à-dire la température à laquelle le corps noir donnerait un rayonnement de même composition que la source.

Cette mesure a été faite au moyen du *pyromètre à filament disparaissant*, au Laboratoire central d'Électricité, par M. Jouaust. (Voir pour pyromètre, *Revue d'Optique*, août 1926.) Une fois cette température connue on a appliqué la formule de Planck relative au rayonnement du corps noir, et l'on a tracé la courbe de répartition de l'énergie en fonction de la longueur d'onde.

Ensuite, tenant compte du fait que la dispersion du spectrographe est représentée par une courbe, et n'est, par conséquent, pas uniforme, on a corrigé la courbe de répartition de la façon qui sera indiquée, de manière à avoir l'énergie relative incidente en chaque point de l'échelle graduée sur laquelle se meut la cellule photo-électrique.

Formule de Planck

$$E_{\lambda} = h c^2 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

ou E est l'énergie incidente,

T la température absolue,

λ la longueur d'onde en microns.

Cette formule s'écrit aussi :

$$E_{\lambda} = C \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T} + 1}}$$

La valeur la plus récente donnée pour c dans la « International Critical Tables, 1926 » est $c = 14330$.

La température de couleur équivalente T a été mesurée égale à 2520° K .

Ceci donne

$$\frac{c}{T} = \frac{14330}{2520} = 5.687$$

En écrivant cette formule sous la forme logarithmique, on a, en ne tenant pas compte de la valeur de la constante C puisqu'il s'agit de valeurs relatives,

$$\log E_{\lambda} = -5 \log \lambda - \frac{c}{\lambda T} \log e$$

Le module $\log e = 0,43429$, ce qui donne en fin de compte

$$\log E_{\lambda} = -\log \lambda - \frac{2,470}{\lambda}$$

Le tableau suivant donne les résultats de ce calcul logarithmique :

$$\text{Formule : } \log E_{\lambda} = -5 \log \lambda - \frac{2,470}{\lambda}$$

λ microns	$\log \lambda$	$-5 \log \lambda$	$\frac{2,470}{\lambda}$	$\log E_{\lambda}$ $= -5 \log \lambda - \frac{2,470}{\lambda}$
0.30	-0.52388	+2.61440	8.23197	-5.61757
0.35	-0.45593	+2.27965	7.05598	-4.77633
0.38	-0.42022	+2.10110	6.49892	-4.39782
0.40	-0.39794	+1.98970	6.17397	-4.18427
0.43	-0.36653	+1.83260	5.74323	-3.91063
0.45	-0.34679	+1.73395	5.48798	-3.75403
0.50	-0.30103	+1.50315	4.93918	-3.4403
0.55	-0.25965	+1.29820	4.49016	-3.19196
0.60	-0.22185	+1.10925	4.11598	-3.00673
0.65	-0.18709	+0.92545	3.79937	-2.86392
0.70	-0.15490	+0.77450	3.52798	-2.75348
0.75	-0.12494	+0.62470	3.29278	-2.66808

Or, comme on ne recherche que les énergies relatives, il suffit d'avoir les rapports des énergies incidentes aux diverses longueurs d'onde. On a donc choisi comme unité arbitraire d'énergie le chiffre relatif à la longueur d'onde $\lambda = 0,30 \mu$. On a porté dans la première colonne du tableau suivant la différence entre le logarithme de $\frac{1}{E_{0,30}}$ et les autres logarithmes, et dans la seconde colonne, les chiffres correspondant à ces différences ; ces chiffres représentent les énergies relatives à chaque longueur d'onde en prenant comme unité le chiffre relatif à $\lambda = 0,30 \mu$.

Energies relatives en fonction de la longueur d'onde

λ en microns	$\log \frac{1}{E\lambda} - \log \frac{1}{E_{0,30\mu}}$ Différences	Energies relatives $E\lambda$
0.30	0	1
0.35	0.84124	6.939
0.38	1.21975	16.586
0.40	1.43330	27.120
0.43	1.70694	50.9275
0.45	1.86354	73.037
0.50	2.18354	152.6
0.55	2.42561	265.8
0.60	2.61084	408.2
0.65	2.75365	567.1
0.70	2.86409	731.3
0.75	2.94949	890.2

Avec ces chiffres l'on a tracé la courbe P, ou courbe de Planck, donnant l'énergie relative à chaque longueur d'onde en unités arbitraires. On remarque que, à $\lambda = 8000 \text{ \AA}$ la courbe n'a pas encore atteint son

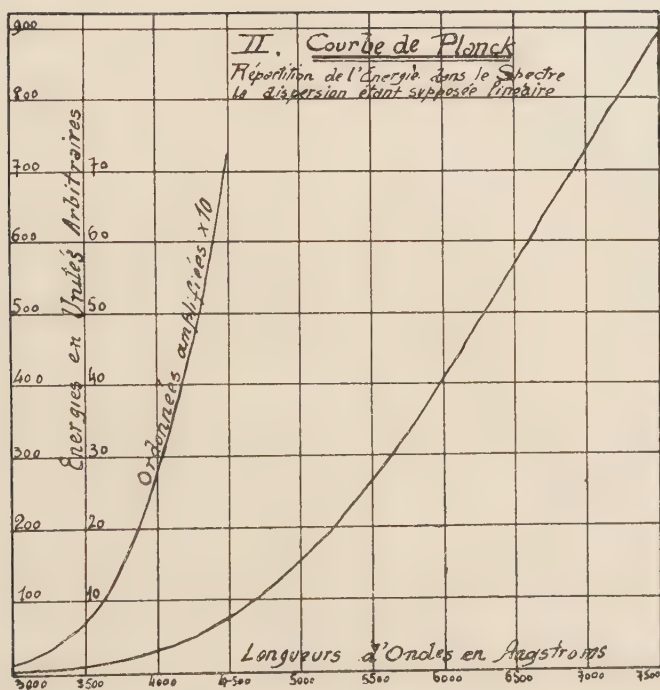
maximum. En effet, la loi de Wien donne pour l'abscisse du maximum

$$\lambda_m = \frac{b}{T}$$

où $b = 2940$

et ici $T = 2520^\circ$.

D'où $\lambda_m = 1,16 \mu = 11600 \text{ \AA}$.



Courbe de Planck

Répartition de l'Energie sans tenir compte de la dispersion
non linéaire

Courbe de répartition de l'Energie, en tenant compte de la Dispersion du Spectrographe.

La courbe de Planck doit subir une modification pour représenter la répartition réelle de l'énergie dans le spectre envisagé. La courbe de dispersion n'étant pas une droite, la dispersion n'est pas proportionnelle à l'augmentation de longueur d'onde c'est-à-

dire $\frac{dD}{d\lambda}$ n'est pas constant, et l'énergie se répartit dans le spectre avec plus ou moins de densité.

Or, comme l'énergie *totale* incidente a une valeur donnée, il faudra donc que les surfaces de deux courbes, tracées, l'une avec des abscisses proportionnelles aux longueurs d'onde, et l'autre avec des abscisses proportionnelles aux déviations subies par chaque longueur d'onde, soient égales.

Dans les limites des longueurs d'onde que nous envisageons, c'est-à-dire entre 3650 Å et 7000 Å, il y a sur le spectre une distance en mm. de

$$69,247 \text{ mm.} - 17,300 \text{ mm.} = 51,947 \text{ mm.}$$

Si la dispersion était uniforme, le coefficient angulaire

$$\text{de la droite serait } \frac{51,947}{7000 - 3650} = 0,01549.$$

Ce serait l'espace occupé sur l'échelle par chaque Angstrom.

En divisant en plusieurs parties la portion de spectre envisagée, on calcule les surfaces partielles correspondantes de la courbe de Planck.

Exemple : la surface de la courbe de Planck incluse entre $\lambda = 3650 \text{ \AA}$ et $\lambda = 3700 \text{ \AA}$ est de

$$[(3700-3650) \times 0,01519] \text{ mm.} \times 11,50 = 0,334$$

où 11,50 est l'ordonnée moyenne de la courbe de Planck entre 3700 $\text{\AA}$ et 3650 $\text{\AA}$ et 0,01519 est la distance en mm. qui dans un spectre à dispersion linéaire correspondrait à une différence de longueur d'onde de 1 Angstrom.

On aurait de même les surfaces correspondant aux autres intervalles de longueurs d'onde, ainsi qu'il est indiqué dans le tableau suivant :

Calcul des surfaces partielles de la courbe de Planck, représentant les énergies dans des intervalles de longueurs d'onde.

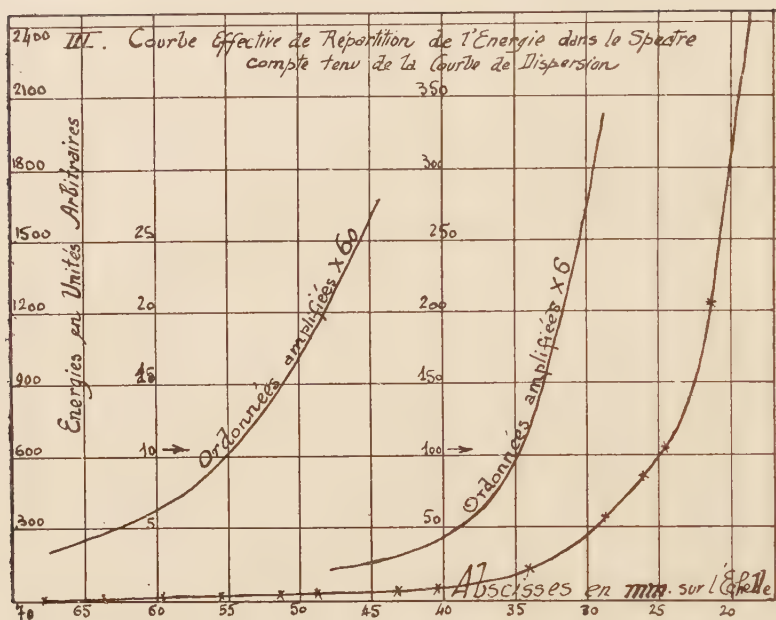
Intervalles de longueurs d'onde en Angstroms $\Delta \lambda$	Espace proportionnel, soit 0.01519 mm. par Angstroms $= 0,01519 \text{ mm.} \times \Delta \lambda$	Ordonnées moyennes (relevées sur la courbe de Planck). (unités arbitraires)	Surfaces partielles
3700—3650= 50	0.7595	11,50	8.73
3800—3700 = 100	1.519	14.30	21.7
3900—3800 = 100	1.519	18.90	28.75
4000—3900= 100	1.519	24	36.45
4100—4000 = 100	1.519	30.6	46.4
4200—4100= 100	1.519	37.8	57.3
4300—4200= 100	1.519	46	69.9
4400—4300 = 100	1.519	55.40	84.3
4500—4400= 100	1.519	66.70	101.3
5000—4500= 500	7.595	118	884
5500—5000= 500	7.595	206	1560
6000—5500= 500	7.595	334	2375
6500—6000= 500	7.595	486	3690
7000—6500= 500	7.595	649	4920

Or, à des intervalles égaux de longueurs d'onde correspondent sur le spectre des intervalles inégaux en millimètres. L'énergie totale, répartie dans un intervalle $\Delta \lambda$ étant donnée par la surface de la courbe de Planck, il faudra que cette surface se conserve quand à un intervalle $K, \Delta \lambda$ on aura substitué l'intervalle ΔD en millimètres, relevé sur la courbe de dispersion donnant la déviation D en fonction de λ . Il faudra donc réduire les ordonnées moyennes de la courbe, de façon à ce que la surface reste la même. Pour cela, il n'y a qu'à diviser la surface relevée sur le tableau précédent par l'intervalle ΔD en millimètres correspondant à un intervalle $\Delta \lambda$, relevé sur la courbe de dispersion. Cette nouvelle ordonnée moyenne est donnée dans le tableau suivant :

*Ordonnées moyennes réelles de la courbe de Répartition
d'Energie.*

Intervalles $\Delta \lambda$	Intervalles correspon- dant en mm. sur la courbe de dispersion ΔD mm.	Abscisse moyenne en mm. sur la courbe de dispersion D mm.	Surfaces de la courbe de Planck (tabl. préc.) ΔS	Ordonnées moyennes réelles ΔS = ΔD
3700—3650	2.75	67.87	8.73	3.175
3800—3700	4.7	63.70	21.7	4.62
3900—3800	4.5	59.60	28.75	6.39
4000—3900	3.8	55.5	36.45	9.60
4100—4000	3.3	51.70	46.4	14.05
4200—4100	3.	48.70	57	19.
4300—4200	2.85	45.90	69.9	24.7
4400—4300	2.75	43.10	84.3	30.60
4500—4400	2.6	40.4	101.3	39.
5000—4500	7.8	34.10	884	114.8
5500—5000	4.6	28.75	1560	339.
6000—5500	3.8	24.50	2375	628.
6500—6000	3	21.30	3690	1230
7000—6500	2	18.55	4920	2460

Ces chiffres ont alors servi à tracer la courbe effective de répartition de l'énergie, en portant en abscisses la distance en millimètres, dans le spectre, correspondant à la moyenne des longueurs d'onde de l'intervalle considéré, et en ordonnées, l'ordonnée moyenne calculée en unités arbitraires.



Courbe effective de répartition de l'Energie dans le spectre
compte tenu de la dispersion non linéaire

EXPÉRIENCE

La détermination de la longueur d'onde incidente correspondant à la position de la cellule sur l'échelle ayant déjà été faite, ainsi que la détermination de l'énergie relative incidente en fonction de la longueur d'onde de façon à rapporter la sensibilité de la cellule aux diverses radiations à égalité d'énergie incidente, il ne reste plus qu'à mesurer le courant photoélectrique en fonction de la position de la cellule sur l'échelle.

1. Installation

L'installation est celle déjà indiquée page 23. Une lampe (S) à filament rectiligne est placée en face du spectrographe. Une lentille condensatrice (L) forme sur la fente du spectrographe l'image agrandie du filament. Le spectre obtenu a une longueur d'environ 50 mm.

Il s'agit d'obtenir le déplacement de la cellule photoélectrique par rapport au spectre, de façon à ce qu'il n'y ait aucun déplacement relatif entre l'échelle indiquant le déplacement de la cellule et le spectre. A cet effet, on a vissé le spectrographe à une table formant étagère et fixée d'une façon définitive par des cornières

en fer au mur de la salle. La lampe formant la source a été de même fixée à cete table. De cette façon, la position du spectre a été rendue fixe.

A la même étagère a été vissé un plateau en bois supportant une échelle graduée avec une glissière mobile par vis et écrou. Sur la glissière a été fixée par des vis la boîte contenant la cellule photoélectrique. De la sorte, l'échelle indiquant la position de la cellule est fixe par rapport au spectre. Cette échelle est divisée en millimètres, et le tambour de la vis servant au déplacement de la glissière est divisé en cent parties égales, de sorte que la lecture pouvait se faire au 1,300 de mm. environ, précision qui est plus que suffisante.

La boîte contenant la cellule photoélectrique est munie d'une ouverture pour l'admission de la lumière. A cette ouverture est adapté un petit tube en laiton muni d'un obturateur. On remplaça l'obturateur par un second petit tube en laiton pouvant coulisser à frottement dur sur le premier tube. Sur ce second tube taraudé à l'intérieur, on vissa une fente réglable. De cette façon, la boîte de la cellule étant fixée sur la glissière, pour amener la fente dans le plan focal de la lentille L_2 on fait coulisser le tube portant la fente, sur le tube fixé à la boîte, jusqu'à ce que la fente soit dans le plan focal de la lentille.

Il fallait ensuite amener les deux fentes F1 (fente du spectrographe) et F2 (fente de la cellule) à être parallèles. Pour cela, on a pris, au moyen du porte-châssis du spectrographe, des photographies du spectre d'un arc à mercure placée exactement à la place de la lampe

à filament rectiligne utilisée comme source. Les raies étant obliques, on a tourné le tube portant la fente du spectrographe, jusqu'à ce que la plaque photographique donne des raies verticales.

Ensuite, pour rendre verticale la fente de la cellule F2, on a amené celle-ci, au moyen de la glissière actionnée par vis et écrou, en face d'une raie du mercure et on a lu la déviation à l'électromètre fonctionnant librement, c'est-à-dire sans résistance intercalée entre les deux paires de quadrants pour la méthode de la perte de charge. Dans ces conditions-là, l'électromètre est extrêmement sensible au courant photoélectrique. On a lu alors la déviation de l'électromètre et en tournant la fente sur l'axe du tube sur lequel elle était visée, on a arrêté la fente à la position donnant la déviation maximum, montrant ainsi que la fente était entièrement couverte par la raie envisagée, et qu'elle était par conséquent verticale.

II. Mesure

Toutes les précautions d'isolement et autres citées en parlant de la méthode de mesure et de l'électromètre étant prises, la cellule a été déplacée graduellement tout le long du spectre, et les lectures ont été faites à des intervalles de 1 millimètre. Pour chaque position, on a fait trois lectures et l'on a pris comme définitive la moyenne de ces trois lectures.

La constante de l'électromètre a été mesurée ainsi qu'il a été déjà indiqué et égale à 145 mm. pour 1 volt.

Pour avoir le courant i débité par la cellule, correspondant à une déviation α , on a fait le rapport

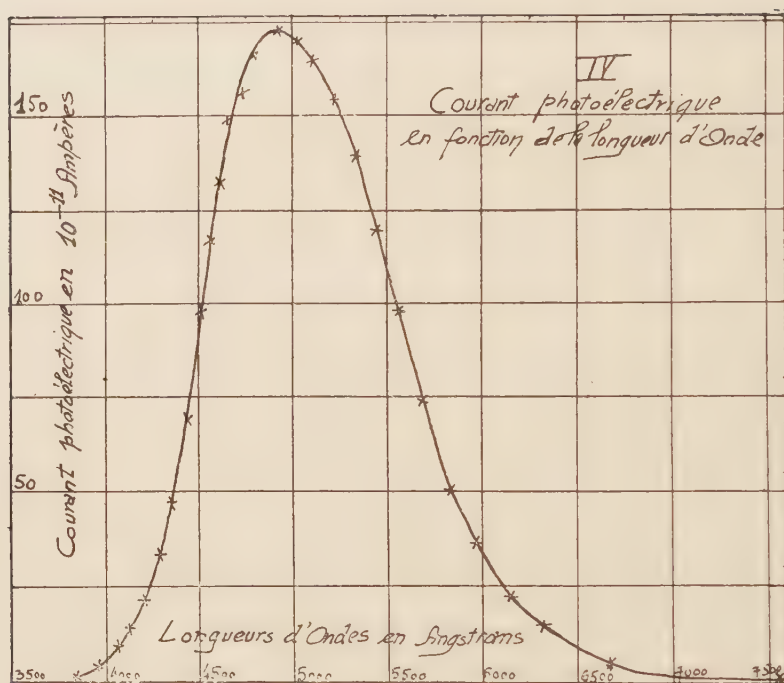
$$i = \frac{e}{R} = \frac{\alpha}{145} \times \frac{1}{R}$$

$$i = \frac{\alpha}{451} \times \frac{1}{1582 \times 10^6} = 0,4367 \times 10^{-11} \times \alpha$$

La valeur de i a été inscrite en face de chaque lecture. De même, en face de chaque lecture on a inscrit la longueur d'onde correspondant à la position de la cellule, cette longueur d'onde étant donnée par la courbe de dispersion du spectrographe, déterminée comme il a été indiqué à la page 24.

Courants photoélectriques

Position de la Cellule sur l'Echelle	Longueur d'onde λ	Déviations Electromètre			Moyenne α	i en 10^{-11} A $= 0,4367 \alpha$ $\times 10^{-11}$
		$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$		
mm.	Angstrom	mm.	mm.	mm.	mm.	10^{-11} Amp.
10	7540	0	0	0	0	0
15		1.5	1.5	1.5	1.5	0.65×10^{-11}
19	6660	11	10	9	10	4.37×10^{-11}
21	6310	34	34.5	33	34	14.84
22	6140	54	49	50	51	22.25
23	5970	84	84.5	83.5	84	36.6
24	5830	115	118	115	116	50.5
25	5690	168	167	173	170	74.25
26	5565	225	224	223	224	97.7
27	5450	273	274	277	275	119.9
28	5340	318	318	318	318	139.00
29	5230	355	351	352	353	154.1
30	5110	379	380	372	377	164.6
31	5020	387	389	393	390	170
32	4930	393	399	396	396	172.6
33	4850	394	394	397	395	172.1
34	4780	380	382	378	382	166.3
35	4720	363	350	355	359	156.3
36	4650	319	322	316	319	149
37	4610	300	304	311	305	133
38	4560	267	267	270	268	116.8
39	4510	225	222	219	223	97.2
41	4430	155	165	158	159	69.4
43	4360	110	112	105	108	47.2
45	4285	76	75	77	76	33.2
47	4210	49	49	49	49	21.35
49	4130	30	30	36	32	13.96
51	4070	23	22	21	22	9.59
55	3960	8.5	8.5	8.5	8.5	3.73
60	3840	2	2	2	2	0.87
65	3725	0	0	0	0	0



Courbe du courant photoélectrique en 10^{-11} amp.

Données

Constante de l'électromètre : 145 mm. pour 1 volt, avec 174 v. sur l'aiguille.

Valeur de la résistance (méthode de la perte de charge) $R = 1.582 \times 10^3$ ohms.

Intensité constante dans la lampe à filament 1,14 A.

Largeur de la fente du spectrographe 0,125 mm, largeur de la fente de la cellule 0,0825. Les largeurs des fentes ont été déterminées au moyen d'un oculaire micrométrique.

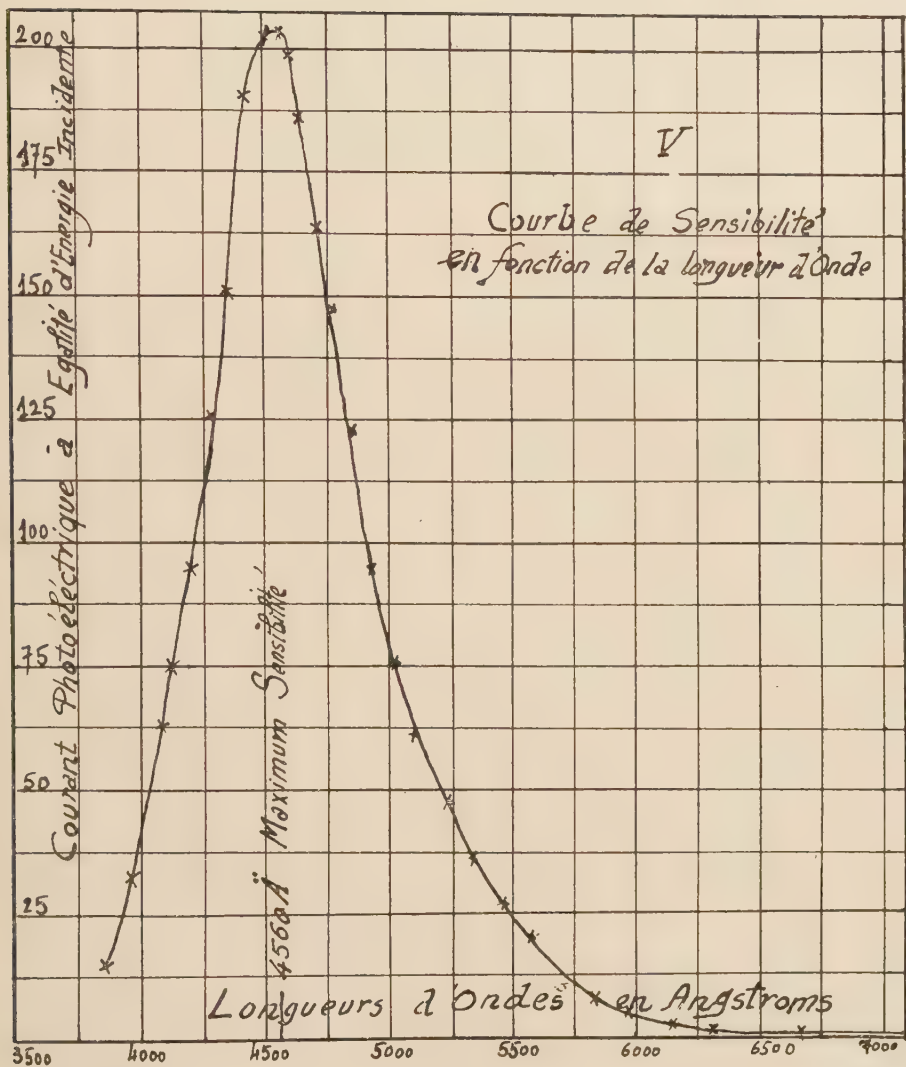
Potentiel accélérateur sur la cellule 180 volts.

Courbe de Sensibilité de la Cellule en fonction de la longueur d'onde, à égalité d'énergie incidente en chaque point du spectre

La courbe finale cherchée est alors tracée en divisant le courant photoélectrique débité dans chaque position de la cellule par l'énergie relative incidente en ce point. La courbe obtenue est bien alors celle de la sensibilité en fonction de la longueur d'onde.

Courant Photoelectrique à égalité d'Energie incidente $\frac{i}{E_{\lambda}}$

Abscisses en mm. sur l'échelle D	Longueur d'onde correspond. λ en Angs.	Courant photoélectr. en 10^{-11} A i	Energie incidente E_{λ} (sur la courbe)	$\frac{i}{E_{\lambda}}$
15	7540	0.654	4100	0.016
19	6660	4.367	2268	0.192
21	6310	14.84	1353	1.070
22	6140	22.25	1020	2.18
23	5970	36.60	816	4.49
24	5830	50.50	681	7.42
25	5690	74.25	585	12.69
26	5565	97.7	510	19.11
27	5450	119.9	444	27.05
28	5340	139	381	36.40
29	5230	154.1	324	47.60
30	5110	164.6	270	61.00
31	5020	170	225	75.60
32	4930	172.6	183	94.40
33	4850	172.1	140	123.00
34	4780	166.3	117	147.20
35	4720	156.3	95.5	163.80
36	4650	149	80	186.3
37	4610	133	67	198.8
38	4560	116.8	56.5	208.70
39	4510	97.2	48	202.50
41	4430	69.35	36.5	190
43	4360	47.15	31	152
45	4285	33.2	26.5	126
47	4210	21.35	22.4	95.40
49	4135	13.96	18.5	75.50
51	4070	9.59	15.15	63.10
55	3960	3.73	11.5	32.45
60	3840	0.873	6.2	14.12



Courbe de la sensibilité en fonction de la longueur d'onde.

Comme on le voit, le maximum de sensibilité, qui dans la courbe IV semblait avoir lieu pour $\lambda = 4920 \text{ \AA}$, a maintenant lieu pour $\lambda = 4525$, c'est-à-dire dans le bleu extrême, vers le violet. De plus la forme de la courbe est changée, se rapprochant bien plus de la forme de la courbe de résonance.

L'on calcule le seuil photoélectrique, c'est-à-dire la longueur d'onde limite pour laquelle l'effet photoélectrique a lieu d'après la formule de Richardson

$$\lambda_0 = \frac{3}{2} \lambda_{\text{max.}}$$

λ_0 donne, d'après la formule d'Einstein..

$$V_{0e} = h \nu,$$

une mesure de la fonction travail photoélectrique, c'est-à-dire du travail nécessaire pour dégager un électron de l'atome.

On constate que le chiffre obtenu est en accord avec le résultat de l'expérience présente. On a

$$\lambda_0 = 1.5 \times 4525 = 6788$$

Ce chiffre $\lambda_0 = 6788 \text{ \AA}$ correspondant à $V_0 = 1.85 \text{ volt}$

est très voisin de $\lambda_0 = 6800$, pour Na trouvé expérimentalement par Millikan.

CONSIDÉRATIONS FINALES

Une explication satisfaisante de l'effet sélectif (métaux alcalins) n'a pas encore été donnée. En 1910, Pohl et Pringsheim opérant sur un alliage liquide de K-Na, trouvèrent que suivant la direction du plan de polarisation de la lumière incidente, la courbe du courant photoélectrique en fonction de la longueur d'onde changeait de forme. Quand le vecteur électrique était perpendiculaire à la surface, la courbe était une droite, le courant augmentant quand la longueur d'onde diminuait, suivant la loi d'Einstein. Quand le vecteur électrique était parallèle à la surface, la courbe prenait la forme d'une courbe de résonance, l'ordonnée maximum étant environ 15 fois plus grande que dans l'effet normal.

Pohl et Pringsheim ont attribué l'effet sélectif, à cause de la forme de la courbe, ressemblant à celle d'une courbe de résonance, à la structure atomique ou cristalline des métaux alcalins.

Mais récemment des expériences faites sur tous les alliages de métaux alcalins, liquides ou non, tendent

à discréditer cette explication. (Voir Ives, *Astrophysical Journal*, vol. LX, 1924, pages 209-242 et 1925, II, p. 209, et 1926, II, p. 128.) Dans ces expériences, on opéra sur différentes surfaces du même métal ou alliage, et sur différents alliages. Pour différents alliages liquides de Na, K, Rb, Cs, la différence entre la courbe sélective et la courbe normale est bien moins marquée que dans le cas de l'alliage K-Na étudié par Pohl et Pringsheim ; tandis que le Cs montre pour l'effet normal, au lieu d'une courbe croissant de façon continue vers les courtes longueurs d'onde, une courbe se rapprochant de la formule de la courbe de l'effet sélectif. Cet effet est encore plus marqué pour l'alliage Na-Rb.

Il apparaît donc que l'effet sélectif de l'alliage liquide, K-Na, est un phénomène particulier auquel ne participent pas si nettement les autres métaux alcalins. Cet effet disparaît surtout lorsque l'on opère sur les métaux en masses ; on peut les faire reparaître dans presque tous les métaux alcalins ainsi que le fait Ives, en opérant sur des couches pelliculaires de métaux alcalins déposées sur différentes surfaces métalliques. De plus la position de la limite de sensibilité aux grandes longueurs d'onde, ainsi que la position du maximum de sensibilité est variable avec le type de la surface : matte, liquide, miroitante (sur verre), pelliculaire (sur métal), etc...

Il apparaît donc assez nettement que l'effet sélectif n'est point dû à une structure atomique ou cristalline spéciale, mais plutôt à une orientation des atomes du métal alcalin. Dans le cas des couches pelliculaires, ce

serait une orientation par rapport à la surface du métal sous-jacent ; dans le cas des métaux alcalins en masse avec surface miroitante, il n'y aurait précisément pas d'orientation, donc pas d'effet sélectif ; la seule exception serait l'alliage liquide K-Na pour lequel on serait forcé d'admettre une orientation des atomes de la surface par rapport à un certain axe de l'atome.

En définitive, l'effet sélectif semble être plutôt un effet de surface qu'un effet de structure atomique ou cristalline.

BIBLIOGRAPHIE

Pour une vue d'ensemble sur le phénomène photoélectrique, voir l'article de Rougier, dans la revue d'Optique 1918 ; le livre de Hughes, Photoelectricity, Cambridge ; Léon Bloch Ionisation et Résonance des gaz et des vapeurs, ch. vi, p. 147-173.

Pour la Bibliographie allemande, voir le livre de L. Bloch, page 211-215, et le Journal de physique 1923, p. 837 ; 1924, p. 145 ; 1925, p. 228 ; 1926, p. 83.

Le Radium

1909. *E. Bloch* — Rôle des impuretés dans l'effet photoélectrique sur l'eau et les solutions salines, p. 74.

1910. *E. Bloch*. — Recherches sur l'effet photoélectrique de Hertz, p. 125.

Costanzo. — Effet photoélectrique et rayons γ , p. 92.

Bialjorsky. — Recherches sur l'ionisation dans les diélectriques solides et liquides, p. 48 et 76.

1911. *Lenard*. — De l'action de la lumière ultra-violette de très courte longueur d'onde sur les gaz et sur une source très puissante de ces rayons, p. 115.

1912. *Reboul*. — L'effet Hertz-Hallwachs et l'absorption de la lumière, p. 400 et les actions photochimiques, p. 155.

1913. *Kordysch*. — Sur la théorie des effets photoélectriques.

Journal de Physique

1908. *Hesehus*. — Sensibilité du selenium à la lumière, p. 538.
Baudeuf. — Action de la lumière ultra-violette sur les faux équilibres électriques, p. 675, 952, 955.
 Voir 1910, table, p. 1096, quelques analyses succinctes de mémoires originiaux.
 1911. *Fleming*. — Propriétés photoélectriques de l'alliage potassium-sodium, p. 286.
Goldmann. — Recherches photoélectriques sur les diélectriques solides, p. 1045.
 1914. *Pohl et Pringsheim*. — Effet sélectif et effet normal, p. 525.
Carvallo. — Sur la conductivité électrique de l'anhydride sulfureux liquide et un nouveau phénomène photoélectrique, p. 387.
 1917. *De Broglie*. — Les phénomènes photoélectriques pour les rayons X et spectres corpusculaires des éléments.
 1923. *Rougier*. — Cellule photoélectrique au potassium, p. 559.
 1925. *Audubert*. — Action de la lumière visible sur les électrodes, p. 318.
Auger. — Sur l'effet photoélectrique composé, p. 205.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences

- 1913, T. 156, p. 1882. *Carvallo*. — Effet photoélectrique de l'anhydride sulfureux liquéfié.
 T. 157, p. 590. *Dima*. — Effet photoélectrique des composés métalliques.
Dima. — Influence de la valence du métal dans les composés métalliques, p. 1882.
 1914, T. 158, p. 477. *Reboul*. — Action sélective des métaux.
 1922, T. 175, p. 259. *Popesco*. — Relation entre les phénomènes photoélectriques et la tension superficielle du Mercure.
 P. 519. *Perucca*. — Propriétés superficielles du mercure, tension superficielle, effet photoélectrique.

- 1923, T. 177, p. 847. *Ferrié et Jouaust*. — Amplification du courant des cellules photoélectriques et ses applications.
- 1924, T. 178, p. 120. *Ferrié et Jouaust*. — Amplification du courant photoélectrique avec la lampe à plusieurs électrodes.
- T. 178, p. 2244. *Curie (M)*. — Effet photoélectrique et phosphogène.
- T. 179, p. 105. *Curie (M.)*. — Effet photoélectrique et température.
- P. 682. *Audubert*. — Sur les phénomènes photovoltaïques.
- P. 754. *Ferrié et Jouaust*. — Amplification du courant photoélectrique et son application à l'astronomie de précision.
- 1925, T. 180, p. 1259. *Arnulf*. — Ionisation de la vapeur de K sous l'influence de la lumière visible.
- p. 1742. *Auber et Perrin (F.)* — Considérations théoriques sur la direction d'émission des photoélectrons.
- p. 1939. *Auger*. — Etude expérimentale des directions d'émission.
- p. 476. — Sur le changement de la conductibilité électrique du pourpre rétinien au cours de l'éclairage.
- p. 693. — Effet photoélectrique produit par les rayons ultraviolets chez l'homme.
- 1926, T. 183. — Répartition dans l'espace des directions d'émission des photoélectrons. *Auger*.

Physical Review

- 1914, I. *Kadesch*. — Positive Potential, p. 63. Energy of electrons function of frequency, p. 367.
- Ives*. — Illumination current relationship, p. 396.
- 1914, II. *Brown*. — Wave length sensibility curve in selenium, page 48.
- Millikan*. — Residual gases and contact electromotive force, page 76.
- Stuhlman (Jr.)*. — Asymmetric emission from thin film of Pt., page 195.

- Hennings.* — Contact Pot and Photoelectric properties of metals in vacuo and mutual relationships, p. 228.
- Brown.* — Wave length sensibility in selenium, p. 507.
- 1915 *I. Elliott.* — Selenium and Stibnite from 20° to 190°, page 53.
- Thomson.* — Photoelectrically active cells with fluorescent electrolytes, p. 43.
- Brown.* — Crystals of metallic selenium, p. 65 and 81.
- Randolph.* — Determination of wave length sensibility, p. 81.
- Brown.* — Crystals of selenium, p. 167.
- Kerrer.* — A cell having the average sensibility of the eye, *Brown.* — Crystals of selenium, p. 236 et 395.
- 1915, II. *Millikan.* — Test of Einstein's Equation, p. 46.
- 1916, I. *Millikan.* — Einstein's Equation and contact electromotive force, p. 18.
- Kunz.* — Construction of sensitive cells, p. 62.
- Kadesch et Hennings.* — Effect of Potential and frequency of incident light, p. 139.
- Kunz.* — Sensitive cells, p. 279.
- Pfund.* — Light sensitiveness of copper oxyde, p. 289.
- Millikan.* — Planck's «h» determined photoelectrically, p. 355.
- 1926, II. *Gardner.* — Photoelectric current as a function of angle and thickness of emitting film, p. 70.
- 1917, I. *Mietrich.* — Effect of light on contact Potential of Selenium and cuprous oxyde, p. 58.
- Sabine.* — Photoelectric potentiels in the Schumann region of the spectrum, 2300 Å — 1250 Å, p. 83.
- Kunz.* — Measure to find form of the curve of current as function of intensity of incident light, p. 168.
- Sabine.* — Extremely short wave lengths, p. 210.
- Hebb.* — Single lined and many lined spectrum of mercury, page 371.
- Coblentz.* — Application of photoelectric cell as pyrheliometer.
- Compton.* — Passage of photoelectrons through metals, p. 554.
- 1917, II. *Benade.* — Elastic impact of Electrons with helium atoms, p. 72.
- Hennings.* — Energy of emission of photoelectrons from film coated and non homogeneous surfaces, p. 72.

- Kunz.* — Amplification of the photoelectric current by the audion, p. 214.
- Cheney.* — Emission of electrons by a metal when bombarded by positive ions in vacuum, p. 335.
- Hughes.* — Emission of electrons in normal and selective. Direction distribution and velocity distribution, p. 490.
- 1918, I. *Derieux.* — Photoelectric effect on mercury droplets 276.
- Coblentz.* — Special photoelectric sensitivity of molybdenite, p. 477.
- Kang-Fuh-Hu.* — maximum emission velocity from metals at X-ray frequencies, p. 477.
- 1918, II. *Welo.* — Variations of the photoelectric current due to heating and the occlusion and emission of gases, p. 251.
- 1919, I. *Carl et Pire.* — Amplification of photoelectric current by audion, p. 102.
- Stuhlmann.* — The emission and absorption of photoelectrons by Pt and Ag, u. 109.
- Coblentz.* — Special photoelectric sensitivity of molybdenite, p. 132.
- Coblentz.* — Photoelectric sensitivity vs. current rectification in molybdenite special photoelectric sensitivity of silver sulphide.
- Kunz.* — Some photoelectric lecture experiments, p. 281.
- Campton.* — Passage of photoelectrons through metals, p. 374.
- Hagenow.* — Thermoionic and photoelectric phenomena at the lowest attainable pressure, p. 415.
- 1919, II. *Coblentz.* — Molybdenite, p. 530.
- 1920, I. *Coblentz.* — Thalosite, p. 126.
- 1920, I. *Coblentz.* — Silver sulphide, p. 281.
- Kunz.* — Lecture experiments.
- Stuhlmann.* — Long wave length limit of Pt and Ag, p. 505.
- Kunz.* — Photoelectric effect of alkali vapors and a new determination of « h ».
- 1920, II. *Kelly.* — Valency of photoelectrons and photoelectric properties of some insulators, p. 260.
- 1921, I. *Coblentz.* — Proustite, p. 367.

- Koppius*. — Comparison of the thermoionic and photoelectric work function form Platinum, p. 395.
- Case*. — New strontium and Baryum cells.
- Murdock*. — The current from the photoactive electrolytic cell, p. 626.
- 1921, *H. Kunz*. — Photoelectric effect of alkali vapors, p. 130.
- Bovie*. — Photoelectric potentials from the Retina, p. 131.
- Jenkins*. — The effect of age and concentration of a solution of Rhodamine B upon the photoelectric current developed, p. 402.
- Case*. — Temperature effects in strontium and Baryum cells, p. 413.
- Millikan*. — Spurious and intrinsic contact electromotive force, p. 236. Threshold ϕ the same for all pure metals.
- 1922, *I. Ives*. — Growth and decay of photo et thermoionic currents from oxide-coated filaments, p. 241.
- Giggs*. — Photoelectric phenomena in coated filament audion bulb, p. 374.
- 1922, *H. Stulmann*. — Variation of current with the thickness of metal, p. 65.
- 1923, *H. Tucker*. — Emission of photoelectrons from Pt ; effect of heat treatment, p. 574.
- 1924, *I. Bubb*. — Direction of ejection of photoelectrons by polarised X-rays, p. 137.
- Piersol*. — Symmetry of incident and emergent photoelectronic velocities, p. 144.
- 1924, *H. Burt*. — Constancy of total photoelectric current from Na with temperature change from 20° C to —190° C.
- Hornbeck*. — Photoelectric response of K at low temperatures 20° C to —180° for the visible spectrum, p. 631.
- 1925, *I. Nielsen*. — Influence of temperature upon the photoelectric effect, p. 30.
- Dubridge*. — Positive rays produced by ultra-violet light, p. 201.
- 1925, *H. Foote and Mohler*. — Photoelectric ionisation of caesium vapor, p. 195.
- Bartlett*. — Photo-resistance effect for metals at low temperatures, p. 247.

- Kazda.* — Photoelectric threshold for mercury, p. 643.
Woodruff. — Photoelectric emission from platinum, p. 671.
Albers. — Photoelectric valve coated with potassium, p. 678.
Loughridge. — Direction of ejection of photoelectrons produced by X-rays, p. 697.
 1926, I. *Mohler.* — Photoionisation and relative absorption probabilities in caesium vapor, p. 37.
 1926, II. *Mohler.* — Photoionisation of a gas by a discharge in the same gas, p. 46.
Wise. — Effect of recombination of primary photoelectric current from a crystal, p. 57.

Astrophysical Journal

- 1914, I. *Ives.* — Illumination-current relationship in K cells, p. 428.
 1915, I. *Ives.* — A sensitive photoelectric cell, p. 400.
 1916, I. *Ives.* — Illumination-current relationship, p. 9.
 1919, I. — *Shinomya.* — Color sensitiveness of photoelectric cells, p. 303.
Kunz. — The law of photoelectric photoemetry, p. 69.
 1920, II. *Seiler.* — Color sensitiveness of photoelectric cells, p. 129.
 1922, II. *Ives.* — Voltage current relationship, p. 1.
 1924, II. *Ives.* — Thin films of alkali metals, p. 209. Normal and selective effect, p. 231.
 1925, II. *Ives.* — Electrical and photoelectric properties of thin films of films of rubidium on glass, p. 309.
 1926, II. *Ives.* — Photoelectric properties of thin films of alkali metals : phenomena at high temperatures, p. 128.

Proceedings of the Royal Society

- 1923, vol. CIV. — A flicker type of photoelectric photometer, giving high precision, p. 248.
Young. — The thermoionic and photoelectric properties of the electropositive metals, p. 611.

- 1925, vol. CVII, *Richardson*. — The thermoionic work-function and photoelectric thresholds of the alkali metals, p. 377.
- 1926, vol. CXII, *Roy*. — On the total photoelectric Emission of Electrons from metals as a function of temperature of the Exciting radiation.

Philosophical Magazine

- 1921, vol. XLI, *Poole*. — Photoelectric Theory of vision, p. 9.
- 1921, vol. XLII, *Poole*. — Possible Connexion between the magnetic state of iron and its photoelectric properties, p. 339.
- Shenstone*. — The effect of an electric current on the photoelectric effect from the radiations from Boron and carbon, p. 145.
- 1923, vol. XLV, *Poole*. — The variation of the photoelectric activity of a Potassium ferro-cyanide solution with the concentration of the solution, p. 895.
- Welo*. — Some photoelectric experiments on Platinum relating to the influence of gases, p. 593.
- Shenstone*. — The effect of current on the photoelectric sensitivity of metals, p. 918.
- 1924, vol. XLVII, *Milne*. — Statistical Equilibrium in relation to the photoelectric Effect, and its application to the determination of Absorption coefficients, p. 209.
- Richardson*. — Photoelectric and photochemical activity, p. 975.
- 1925, vol. XLIX, *Chien Cha*. — On the incident and emergent velocities of photoelectrons emitted from thin platinum, films, p. 262.
- Foe*. — Longitudinal Asymmetry in the direction of ejection of photoelectrons, p. 817.
- Bubbs*. — A quantum theory on the Asymmetries of Direction of ejection of photoelectrons, p. 824.
- Taylor*. — A note on the photo-activation of chlorine, p. 1165.
- Burt*. — Constancy of total photoelectric current from Sodium with temperature change from 20° to — 190° C, p. 1168.

- 1925, vol. L. *Lawrence*. — The photoelectric effect in K vapor as a function of the frequency of light.
- Milne*. — Saha's ionisation formula and the theoretical value of the photoelectric absorption coefficient, p. 547.
- Bowen*. — Photoactivation of chlorine, p. 879.
- 1926, vol. LI. *Lorentz*. — The so-called positive photoelectric Emission (inverse effect) and the reality of the sub-Electron, p. 499.
- 1926, vol. LII. *Grunmbach*. — On the Origin of the E. M. F. of a photoelectric cell containing a Fluorescent electrolyte, p. 313.
- Welo*. — The photoelectric Emission from Platinum as influenced by heating, p. 463.
-

Table des Matières

GÉNÉRALITÉS.	7
INSTALLATION.	
1. La cellule photoélectrique.....	12
2. Méthode de mesure.....	13
3. Electromètre	17
4. Résistance	19
5. Spectrographe (Courbe de Dispersion).....	20
6. Source lumineuse..	
A. Description	27
B. Détermination de la répartition de l'énergie dans le spectre.....	28
EXPÉRIENCE.	
1. Installation	39
2. Mesure	41
CONSIDÉRATIONS FINALES	49
BIBLIOGRAPHIE	53

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

MAGNÉTOSTRICTION

Vu et approuvé :

Paris, le 4 décembre 1926,

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

Ch. MAURAIN

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

PAUL LAPIE.

